

PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PROJECTION ALIGNER BY THIS PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE

Publication number: JP2001228401 (A)

Publication date: 2001-08-24

Inventor(s): TERASAWA CHIAKI; ISHII HIROYUKI; KATO TAKASHI

Applicant(s): CANON KK

Classification:

- **international:** G02B13/18; G02B17/08; G03F7/20; H01L21/027;
G02B13/18; G02B17/08; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-
7): G02B17/08; G02B13/18; H01L21/027

- **European:** G02B17/08U; G02B17/08A2; G02B17/08C2; G02B17/08M;
G03F7/20T16

Application number: JP20000037981 20000216

Priority number(s): JP20000037981 20000216

Also published as:

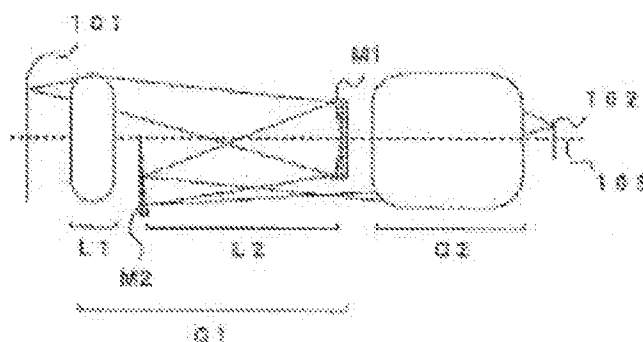
US2002024741 (A1)

US7075726 (B2)

Abstract of JP 2001228401 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection optical system which does not give rise to the light shielding (drop-out) of the pupil, is capable of assuring high resolving power and a wide exposure region and facilitates assembly and regulation, a projection aligner by this projection optical system and a method for manufacturing the device.

SOLUTION: The projection optical system for projecting the image of an object to an image plane has a first image optical system for forming at least an intermediate image of the object described above and a second image optical system for projecting this intermediate image to the image plane in order of the optical paths from the object side. The first image optical system and the second image optical system are arranged along the optical axis of one common straight line. The first image optical system has a mirror and the image of the object is projected to the image plane by abaxial light past the outside of the effective diameter of this mirror.



Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-228401

(P2001-228401A)

(43) 公開日 平成13年8月24日 (2001.8.24)

(51) IntCl ⁷	識別記号	F I	サーチコード [*] (参考)
G 0 2 B 17/08		C 0 2 B 17/08	A 2 H 0 8 7
	13/18	13/18	5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 有 請求項の数37 O L (全 71 頁)

(21) 出願番号 特願2000-37981(P2000-37981)

(22) 出願日 平成12年2月16日 (2000.2.16)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 寺沢 千明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 石井 弘之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100105289

弁理士 長尾 達也

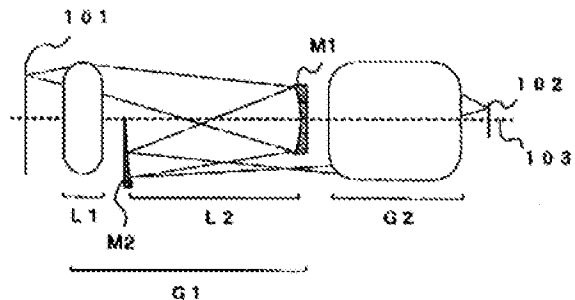
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 露の遮光（中抜け）が起こらず、レンズの構成枚数が少なく、かつ高解像力と広い露光領域が確保でき、組立調整が容易な投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供する。

【解決手段】 物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側からの光路順に、少なくとも前記物体の中間像を形成するための第1結像光学系と、該中間像を像面へ投影するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系がミラーを備え、該ミラーを介し該ミラーの有効径外を通過させた軸外光によって、物体の像を像面へ投影するように構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側から順に、前記物体の中間像を形成するための第1結像光学系と、該中間像を像面へ投影するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系が前記物体からの軸外光を反射し且つ集光する第1のミラーを有し、前記第1結像光学系が前記第1のミラーからの光を反射して前記第2結像光学系に入射させる第2のミラーを有するか、或は前記第2結像光学系が前記第1のミラーからの光を前記像面側へ反射する第2のミラーを有し、該第2のミラーにより前記軸外光を前記第1のミラーの有効径外を通過させることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】前記第1結像光学系の倍率 β は、 $|\beta| \geq 1$ であることを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項3】前記第1結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の投影光学系。

【請求項4】前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項3に記載の投影光学系。

【請求項5】前記第2結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項6】前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項5に記載の投影光学系。

【請求項7】前記第1のミラーと第2のミラーの間に、レンズ群を有することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項8】前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有する屈折レンズと、凹面鏡からなる第1のミラーとの間に配置されていることを特徴とする請求項7に記載の投影光学系。

【請求項9】前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に、前記第1結像光学系の瞳を前記第2結像光学系の瞳上へ投影するフィールド光学系を有し、前記第1結像光学系が少なくとも前記第1のミラーを含む正屈折力の第1ミラー群と前記第2のミラーを含む第2ミラー群の2つのミラー群を備え、前記第2ミラー群により反射された前記第1ミラー群からの光束を、前記第1ミラー群の有効径外を通過させるように構成したことを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項10】前記第2結像光学系は、レンズのみで構成され、正の屈折力を有することを特徴とする請求項9に記載の投影光学系。

【請求項11】前記第2結像光学系は、その倍率をBG2としたとき、 $-0.5 < BG2 < -0.05$ を満足することを特徴とする請求項9または請求項10

に記載の投影光学系。

【請求項12】前記第1結像光学系は、その倍率をBG1としたとき、

$$-40, 0 < BG1 < -0.5$$

を満足することを特徴とする請求項9～11のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項13】前記フィールド光学系は、全てレンズで構成したことを特徴とする請求項9～12のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項14】前記フィールド光学系は、第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーを含む第2フィールドミラー群を有し、前記第1ミラー群の有効径外を通過した軸外光を前記第1フィールドミラー、前記第2フィールドミラーの順に反射させた後に、前記第1フィールドミラーの光軸中心近傍を通過して前記第2結像光学系に入射するように構成されていることを特徴とする請求項9～12のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項15】前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする請求項14に記載の投影光学系。

【請求項16】前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凹面鏡としたことを特徴とする請求項14に記載の投影光学系。

【請求項17】前記第1結像光学系のベッツバール和をP1、前記フィールド光学系のベッツバール和をPf、前記第2結像光学系のベッツバール和をP2としたとき、

$$P1 < 0$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足することを特徴とする請求項9～16のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項18】前記物体と前記第1ミラーの近軸距離をLM1、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離をeとしたとき、これらの関係が、

$$0, 6 < e/LM1 < 2, 5$$

を満足することを特徴とする請求項9～17のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項19】前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離をLM2、物体面から第1結像系による中間像までの光路に沿った近軸距離をOIとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$$0, 5 < OI/LM1 / (LM1 + 2 \times LM2) < 2, 0$$

を満足することを特徴とする請求項9～18のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項20】前記距離LM1と前記距離LM2との関係が、

$$0, 2 < LM2/LM1 < 0, 95$$

を満足することを特徴とする請求項9～19のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項21】前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離を L としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.15 < LM1/L < 0.55$$

を満足することを特徴とする請求項9～20のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項22】前記第1ミラー群の倍率を $BGM1$ としたとき、

$$-2.0 < 1/BGM1 < 0.4$$

を満足することを特徴とする請求項9～21のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項23】前記第1結像光学系は最も前記物体側に正屈折力のレンズ群を配置したことを特徴とする請求項9～22のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項24】前記第1ミラー群は、前記物体側から順に負屈折力のレンズ、前記第1ミラー、前記負屈折力のレンズを有することを特徴とする請求項9～23のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項25】第2ミラー群は、前記物体側からの順に光レンズ、前記第2ミラー、前記レンズを有することを特徴とする請求項9～24のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項26】前記物体からの軸外光束が、前記第1ミラー群に入射する前に前記第2ミラー群のレンズを通過することを特徴とする請求項9～25のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項27】前記第1結像光学系の前記第1ミラー群の像面側直後に、前記フィールド光学系に属する正レンズを配置したことを特徴とする請求項9～26のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項28】前記第2フィールドミラーと前記第1フィールドミラーの距離を $LFM1$ 、第2フィールドミラーと像面の距離を $LFM2$ としたとき、 $0.45 < LFM1/LFM2 < 0.8$ を満足することを特徴とする請求項14～16のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項29】前記第2フィールドミラー群は、前記物体側から順にレンズ、前記第2フィールドミラー、前記レンズを有することを特徴とする請求項14～16、請求項28のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項30】前記第1結像系の第1ミラーと前記フィールド光学系の第2フィールドミラーの間にフィールド光学系に属する正レンズを配置し、第1結像系の第2ミラーで反射した光束が前記正レンズを通り第1フィールドミラーで反射するように構成されていることを特徴とする請求項14～16、請求項28、請求項29のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項31】前記物体側と前記像面側の双方がテレセントリックであることを特徴とする請求項1～30のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項32】前記投影光学系の倍率は、縮小倍率であ

ることを特徴とする請求項1～31のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項33】前記第1結像光学系による中間像の位置に、前記像面での結像領域の大きさ及び／又は形状を可変とする可変視野絞りを配置したことを特徴とする請求項1～32のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項34】前記第2結像光学系中に絞りを有することを特徴とする請求項1～33のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項35】請求項1～34のいずれか1項に記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

【請求項36】請求項35に記載の投影露光装置を用いて前記マスクとしてのレチクルのデバイスパターンを前記基板としてのウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項37】前記露光にArFエキシマレーザ又はF2レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする請求項36に記載のデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法に関し、特にレチクルパターンを半導体ウェハに投影露光する投影光学系に、反射ミラーを用いた反射屈折投影光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、集積回路の高集積化が進むに従い、投影露光光学系に対する要求仕様、要求性能もますます厳しいものになってきている。一般に高い解像力を得るためには露光波長の短波長化、NAの高NA化が行われている。しかしながら露光波長の短波長化が193nm (ArFエキシマレーザ光) や157nm (F2エキシマレーザ光) といった領域に達すると使用可能なレンズ材料が石英と蛍石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものである。従来、例えば特開昭10-79345号公報等に開示されているような全て屈折レンズで構成され、レンズ構成枚数が多く全硝材厚が大きい光学系では、ウェハ上での露光量が低下するためスルーputが低下することとなり、またレンズの熱吸収による焦点位置の変動、収差変動などの問題(熱収差)が生じてくる。露光波長が193nmでは石英と蛍石が使用されるが、それらの分散の差が小さいため色収差の補正が難しく、完璧に補正しようとすると色消し面の曲率半径が小さい色消しレンズが数個必要になるため、光学系全硝材厚の増大を招き、前述の透過率、熱収差の問題が起こってくる。また現状、蛍石に関しては、投影光学系の設計性能を保証するに耐えうる特性を有するものを製造するのが難しく、さらに大口径のもの

を製造するのが困難な状況である。このことは色補正をさらに難しくし、コストアップの要因となっている。さらに露光波長が157nmとなると使用可能なレンズ材料は螢石のみとなり単一材料だけでは色収差を補正することはできない。いずれにしても屈折系だけで投影光学系を構成することが困難になってくる。

【0003】そのため、光学系中にミラーを使用し反射系とすることにより、前述の透過率、色補正といった課題を回避しようとする提案が種々なされている。例えば、反射系だけで構成されている反射投影光学系が特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報等で開示されている。また、反射系と屈折系を組み合わせた反射屈折投影光学系が、米国特許第5,650,877号明細書、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報、特開昭63-163319号公報、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報、特開平4-234722号公報、特開平5-188298号公報、特開平6-230287号公報、特開平8-304705号公報等で開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような露光波長の短波長化や高NA化に対応し、反射系を含んだ投影光学系構築するとき、色収差補正が可能なことは当然として、理想的には、像面上で十分な大きさの結像領域が得られ、ミラー、レンズといった光学素子の枚数が少なく、ミラーへの入射角が大きくなり、十分な像側作動距離を確保でき、簡素な構成が望ましい。像面上で十分な大きさの結像領域幅が得られれば、走査型投影露光装置ではスループット上有利であり、露光変動を抑えることができる。枚数が少なければ、ミラー、レンズといった光学素子を製造する上での工程負担を軽減でき、全膜材厚を小さくすることにもなるので光量損失も減少させることができ、さらに装置のフットプリントの増大を抑制することにもなる。また膜による光量損失を減少させることにもなる。特に露光波長が157nm(F2エキシマレーザ光)になるとミラーの反射膜での光量損失も無視できなくなるのでなおよい。ミラーへの入射角が大きくなれば反射膜の角度特性による光量変化の影響を抑制できる。十分な像側作動距離を確保できれば、装置のオートフォーカス系やウェハーステージの搬送系などを構成する上で好ましい。簡素な構成であれば、メカ鏡筒等も複雑化させることはなく組立製造上のメリットがある。以上のような視点から従来例について検証すると、まず、米国特許第5,650,877号明細書では、光学系中にマンジンミラーと屈折部材を配置して、レチクルの像をウェハに露光するものであるが、この光学系は、使用する全ての画角において瞳の中心部分の遮光(中抜け)が起こるとともに、露光領域が大きくなり、露光領域を大きく

しようとすると瞳の中心部分の遮光が大きくなり好ましくなく、さらに、マンジンミラーの屈折面がビームスプリット面を形成しており、その面を通過するごとに光量は半分になり、像面(ウェハ面)では、10%程度に低下してしまうという点等にも問題を有している。また、特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報では、反射系のみによる構成を基本としているが、収差的(ベッツパール和)にもミラー配置の上でも像面上での結像領域幅を十分に確保することが難しく、また主に像面近傍のパワーが大きい凹面鏡が結像作用を有する構成となっているので高NA化が困難であり、該凹面鏡の直前位置に凸面鏡が配置されるため、十分な像側作動距離を確保できないという問題がある。また、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報は、カセグレン型やシュワルツシルト型のミラー系を応用し、ミラー中心部に開口を設けることにより瞳の中抜けを生じさせ瞳の周辺部分のみを結像に寄与させる光学系を提案しているが、瞳の中抜けの結像性能への影響が懸念され、また瞳の中抜けを小さくしようとすると必然的にミラーのパワーが大きくなるのでミラーへの入射角も大きくなり、さらに高NA化を図るとミラー径が著しく増大してしまう。また、特開昭63-163319号公報、特開平5-188298号公報、特開平6-230287号公報では、光路の折れ曲がりにより構成が複雑化しており、中間像を最終像へ結像させる光学群のパワーの大部分を凹面鏡が担っているため構成上高NA化が困難であり、凹面鏡と像面の間に配置されているレンズ系の倍率が縮小系で正の符号であるため、像側作動距離が十分に確保できない。また、物像面を対向させるためには、収差補正には何ら寄与せず光路を折り曲げるためだけの目的で2枚の平面鏡を必要とし、露光波長が157nmになると光量損失の上からも好ましくない。さらに構成上、光路分割の必要から結像領域幅を確保するのも困難であり、光学系が大型化しているのでフットプリント上も好ましくない。また、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報では、まず光路がビームスプリッターにより分割されるので、鏡筒構造が複雑化してしまう。そして径が大きいビームスプリッターを必要としこれがプリズム型の場合はその厚みにより光量損失が大きい。高NAに際してはさらに径が大きくなるので光量損失もますます大きくなっていく。ビームスプリッターが平板型の場合は軸上光線においても非点収差、コマ収差が発生してしまい問題がある。また熱吸収による非対称収差の発生や光束分割面での特性変化による収差の発生を招き、製造面で精度良くビームスプリッターを作成することも難しい。

【0005】さて、特開平4-234722号公報、特開平8-304705号公報は、以上説明した従来例の問題点をかなり解決できているが、光路を折り曲げることで凹面鏡からの光路を分割して、偏芯光学的

な取扱いが必要となるため、構造が複雑で組み立て調整等も難しい。

【0006】そこで、本発明は、上記特開平4-234722号公報、特開平8-304705号公報における光学系を改善し、メカ構造が簡単に組み立て調整が容易な投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供することを目的とするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を達成するため、つぎの(1)～(37)のように構成した投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供する。

(1) 物体の像を像面へ投影する投影光学系において、前記物体側から順に、前記物体の中間像を形成するための第1結像光学系と、該中間像を像面へ投影するための第2結像光学系とを有し、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系とは共通の一直線の光軸に沿って配置しており、前記第1結像光学系が前記物体からの軸外光を反射し且つ集光する第1のミラーを有し、前記第1結像光学系が前記第1のミラーからの光を反射して前記第2結像光学系に入射させる第2のミラーを有するか、或は前記第2結像光学系が前記第1のミラーからの光を前記像面側へ反射する第2のミラーを有し、該第2のミラーにより前記軸外光を前記第1のミラーの有効径外を通過させることを特徴とする投影光学系。

(2) 前記第1結像光学系の倍率 β は、 $|\beta| \geq 1$ であることを特徴とする上記(1)に記載の投影光学系。

(3) 前記第1結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記(1)または上記(2)に記載の投影光学系。

(4) 前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする上記(3)に記載の投影光学系。

(5) 前記第2結像光学系が、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記(1)～(4)のいずれかに記載の投影光学系。

(6) 前記レンズが、正の屈折力を有することを特徴とする上記(5)に記載の投影光学系。

(7) 前記第1のミラーと第2のミラーの間に、レンズ群を有することを特徴とする上記(1)～(6)のいずれかに記載の投影光学系。

(8) 前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有する屈折レンズと、凹面鏡からなる第1のミラーとの間に配置されていることを特徴とする上記(7)に記載の投影光学系。

(9) 前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に、前記第1結像光学系の瞳を前記第2結像光学系の瞳上へ投影するフィールド光学系を有し、前記第1結像光学系が少なくとも前記第1のミラーを含む正屈折力の第1ミラー群と前記第2のミラーを含む第2ミラー群の2

つのミラー群を備え、前記第2ミラー群により反射された前記第1ミラー群からの光束を、前記第1ミラー群の有効径外を通過させるように構成したことを特徴とする上記(1)に記載の投影光学系。

(10) 前記第2結像光学系は、レンズのみで構成され、正の屈折力を有することを特徴とする上記(9)に記載の投影光学系。

(11) 前記第2結像光学系は、その倍率を $BG2$ としたとき、

$$-0.5 < BG2 < -0.05$$

を満足することを特徴とする上記(9)または上記(10)に記載の投影光学系。

(12) 前記第1結像光学系は、その倍率を $BG1$ としたとき、

$$-40.0 < BG1 < -0.5$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(11)のいずれかに記載の投影光学系。

(13) 前記フィールド光学系は、全てレンズで構成したことを特徴とする上記(9)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(14) 前記フィールド光学系は、第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーを含む第2フィールドミラー群を有し、前記第1ミラー群の有効径外を通過した軸外光を前記第1フィールドミラー、前記第2フィールドミラーの順に反射させた後に、前記第1フィールドミラーの光軸中心近傍を通過して前記第2結像光学系に入射するように構成されていることを特徴とする上記(9)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(15) 前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凸面鏡としたことを特徴とする上記(14)に記載の投影光学系。

(16) 前記第1フィールドミラーを凹面鏡、前記第2フィールドミラーを凹面鏡としたことを特徴とする上記(14)に記載の投影光学系。

(17) 前記第1結像光学系のベッツバル和を $P1$ 、前記フィールド光学系のベッツバル和を Pf 、前記第2結像光学系のベッツバル和を $P2$ としたとき、 $P1 < 0$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(16)のいずれかに記載の投影光学系。

(18) 前記物体と前記第1ミラーの近軸距離を $LM1$ 、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離を e としたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e/LM1 < 2.5$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(17)のいずれかに記載の投影光学系。

(19) 前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離を $LM2$ 、物体面から第1結像系による中間像までの光路

に沿った近軸距離を OIL としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.5 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(18)のいずれかに記載の投影光学系。

(20) 前記距離 $LM1$ と前記距離 $LM2$ との関係が、 $0.2 < LM2 / LM1 < 0.95$

を満足することを特徴とする上記(9)～(19)のいずれかに記載の投影光学系。

(21) 前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離を L としたとき、前記距離 $LM1$ との関係が、

$$0.15 < LM1 / L < 0.55$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(20)のいずれかに記載の投影光学系。

(22) 前記第1ミラー群の倍率を $BGM1$ としたとき、

$$-2.0 < 1 / BGM1 < 0.4$$

を満足することを特徴とする上記(9)～(21)のいずれかに記載の投影光学系。

(23) 前記第1結像光学系は最も前記物体側に正屈折力のレンズ群を配置したことを特徴とする上記(9)～(22)のいずれかに記載の投影光学系。

(24) 前記第1ミラー群は、前記物体側から順に負屈折力のレンズ、前記第1ミラー、前記負屈折力のレンズを有することを特徴とする上記(9)～(23)のいずれかに記載の投影光学系。

(25) 第2ミラー群は、前記物体側からの順に光レンズ、前記第2ミラー、前記レンズを有することを特徴とする上記(9)～(24)のいずれかに記載の投影光学系。

(26) 前記物体からの軸外光束が、前記第1ミラー群に入射する前に前記第2ミラー群のレンズを通過することを特徴とする上記(9)～(25)のいずれかに記載の投影光学系。

(27) 前記第1結像光学系の前記第1ミラー群の像面側直後に、前記フィールド光学系に属する正レンズを配置したことを特徴とする上記(9)～(26)のいずれかに記載の投影光学系。

(28) 前記第2フィールドミラーと前記第1フィールドミラーの距離を $LFM1$ 、第2フィールドミラーと像面の距離を $LFM2$ としたとき、

$$0.45 < LFM1 / LFM2 < 0.8$$

を満足することを特徴とする上記(14)～(16)のいずれかに記載の投影光学系。

(29) 前記第2フィールドミラー群は、前記物体側から順にレンズ、前記第2フィールドミラー、前記レンズを有することを特徴とする上記(14)～(16)、上記(28)のいずれかに記載の投影光学系。

(30) 前記第1結像系の第1ミラーと前記フィールド光学系の第2フィールドミラーの間にフィールド光学系

に属する正レンズを配置し、第1結像系の第2ミラーで反射した光束が前記正レンズを通り第1フィールドミラーで反射するように構成されていることを特徴とする上記(14)～(16)、上記(28)、上記(29)のいずれかに記載の投影光学系。

(31) 前記物体側と前記像面側の双方がテレセントリックであることを特徴とする上記(1)～(30)のいずれかに記載の投影光学系。

(32) 前記投影光学系の倍率は、縮小倍率であることを特徴とする上記(1)～(31)のいずれかに記載の投影光学系。

(33) 前記第1結像光学系による中間像の位置に、前記像面での結像領域の大きさ及び／又は形状を可変とする可変視野絞りを配置したことを特徴とする上記(1)～(32)のいずれかに記載の投影光学系。

(34) 前記第2結像光学系中に絞りを有することを特徴とする上記(1)～(33)のいずれかに記載の投影光学系。

(35) 上記(1)～(34)のいずれかに記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

(36) 上記(35)に記載の投影露光装置を用いて前記マスクとしてのレチクルのデバイスパターンを前記基板としてのウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

(37) 前記露光にA r Fエキシマレーザ又はF2レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする上記(36)に記載のデバイス製造方法。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の一つの実施の形態としては、上記構成を用いて、例えば図1に示す反射屈折投影光学系を構成することができる(実施の形態1)。101は第1の物体(レチクル)、102は第2の物体(ウェハ)、103は本実施の形態1の光学系の光軸である。ここでの光学系は、物体側から順に、少なくとも第1結像光学系G1と第2結像光学系G2よりなる。第1結像光学系G1は、少なくとも物体側より順に屈折部材を有するL1、第1のミラーM1、第2のミラーM2により構成されており、第1の物体101からの光束を第1結像光学系G1にて結像し、中間像を形成する。その際、第1のミラーM1の有効径外を、第1の物体101からの軸外光束が通過する構成をとっている。そして第1結像光学系G1により結像した中間像を、屈折部材により構成されている第2結像光学系G2により、第2の物体102上に所定の倍率にて結像する。以上のような構成とすることで、本実施の形態1における光学系は一つの光軸103を有し、瞳の遮光のない軸外光束を結像する多数回結像光学系を達成している。

【0009】第1結像光学系G1は、少なくとも1枚以

上の屈折レンズと2枚のミラーにより構成されている。屈折レンズ群L1は、主に物体側のテレセン度を確保し、かつ歪曲収差の補正に貢献するとともに、第1のミラーM1に光束が過度に広がらないように入射させている。第2のミラーM2は、第1のミラーM1と光軸103に対して対向して配置され、第1のミラーM1からの光束を光軸103の正方向に折り返し、第1のミラーM1の有効径外へと光束を導いている。尚、第1の物体101から第2の物体102の方向を正方向としている。このような構成を取ることで、瞳の中抜けを起こすことなく、また光軸を曲げることなく第2結像光学系に光束を運ぶことが可能となる。

【0010】屈折レンズ群L1は、正の屈折力を有するのが望ましい。正の屈折力を有することで、第1のミラーM1への入射高さを過度に大きくしないとともに、第1のミラーM1への光軸に対する入射角を大きくすることができ、第2のミラーM2での光束の分離を容易にできる。また、第1のミラーM1は凹面鏡にて構成するのが好ましい。本実施の形態1の光学系において、第1結像光学系G1における瞳は第1のミラーM1の前後に存在し、その近辺では第1結像光学系G1において各画角の光束の幅が大きくなるとともに、画角の違いによる光束のばらつきが少なくなる。従って、第1のミラーM1は、正のパワーを有することで、即ち凹面鏡にて構成することで、屈折レンズ群L1からの各画角の光束を収束させ、第2のミラーM2以後の光束の分離をより容易にできるとともに像面湾曲をオーバー方向に発生させて、第2結像光学系G2におけるアンダーの像面湾曲を打ち消す効果を有することができる。

【0011】また、第2のミラーM2は、第1のミラーM1からの光束を光軸103の正方向に折り返す役割を有している。尚、第2のミラーは凹面鏡でも、平面ミラーでも、或いは凸面ミラーでも構わない。パワー配置の違いによって必要な形状を有すればよい。但し、第1結像光学系G1において、第2結像光学系G2の像面湾曲及び諸収差を打ち消すためには、第2のミラーM2も凹面鏡にて構成すれば第1のミラーM1の屈折力を分担できるため、より望ましい。

【0012】第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1により結像した中間像を第2の物体上に結像する機能を有する。第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1により発生したオーバー方向の像面湾曲等の諸収差をキャンセルする関係にある。この第2結像光学系G2は、屈折レンズ系にて構成している。最終結像光学系を屈折レンズ系にて構成することにより、高い開口数を有する光学系を容易に構成することが可能となる。また、この第2結像光学系G2を縮小倍率とすることにより、第1結像光学系G1における光束の幅が過度に増すことを防ぐとともに、第1のミラーM1と第2のミラーM2による光束の分離をより容易にしている。また、この第2結

像光学系G2中に開口絞りを有している。

【0013】尚、屈折レンズ群Rを、第1のミラーM1及び第2のミラーM2の2枚のミラーを含む群L2中に配置してもよい。図2は、図1中に屈折レンズ群Rが配置されたときの概略図を示す。ここで、図1と同じ番号のものは同一の機能を有するものとする。屈折レンズ群Rが屈折レンズ群L1と第1のミラーM1の間に配置されるといわれる往復光学系となる。即ち、屈折レンズ群Rには、屈折レンズ群L1により屈折された光束が入射するとともに、第2のミラーM1にて反射された光束も通過することになる。また、この屈折レンズ群Rを有する場合には、その屈折力が負であることがより望ましい。この屈折レンズ群Rの屈折力を負とすることで、第1のミラーM1にて負担しているベッツバール和を分担するとともに、全系の色収差の補正に寄与することが可能である。従って、屈折レンズ群Rを構成する場合には、負の屈折力を有することが望ましい。また同時に、主に全系の球面収差やコマ収差の補正にも寄与することができる。上述の通り、主に軸上色収差の補正等のためには、第1のミラーM1付近に屈折レンズ群Rを配置するのが好ましいが、第2のミラーR付近に配置しても構わない。即ち、第1のミラーM1からの反射光束と第2のミラーの反射光束とを透過する位置に配置しても構わない。また、屈折レンズ群Rは、2枚のミラーを含む群L2の範囲において、どこに配置しても、又何枚配置しても構わない。本実施の形態における投影光学系は、特に2回結像光学系にて達成した場合、正の倍率を有している。実施の形態1においては、以上の様な構成をとることにより、瞳の中心部の遮光を有することなく、構成枚数が少なくかつ高解像力と広い露光領域を確保して組立調整も容易な反射屈折光学系を達成することができる。

【0014】また、本発明の別の実施の形態としては、例えば図3に示す反射屈折投影光学系を構成することができる（実施の形態2）。これは、物体面のうち像面まで至り結像に寄与する領域は光軸外の半円弧状（リングフィールド系）で、像面上の光束中心部に欠られは皆無であり、該投影光学系は物体側からの光路順に、物体の中間像を形成する役割を有する第1結像系Gr1と、該第1結像系Gr1の瞳を第2結像系Gr2の瞳上へ投影するフィールド光学系Grfと、像面の直前に位置し最終像を形成する第2結像系Gr2を有し、第1結像系Gr1は第1ミラーM1を含む正屈折力の第1ミラー群GM1、第2ミラーM2を含む第2ミラー群GM2という2つのミラー群を有し、物理的に第2ミラー群GM2は第1ミラー群GM1よりも物体側に配置され、第1ミラーM1は物体側へ凹面を向けた凹面鏡であり、物体側からの光束が第1結像系Gr1中で第1ミラーM1、第2ミラーM2の順に反射された後に、該光束は第1ミラー群GM1の有効径の外側を通過して像面側へ進行し、順に

該フィールド光学系Grf、該第2結像系Gr2を通過することにより該投影光学系全系は1直線の光軸上に形成され、物体面と像面は該光軸の両端に対向して位置し、投影光学系全系の倍率は縮小倍率であることを特徴としている。

【0015】図3は本実施の形態2の基本的構成の概略図、図12～図45は後述するように本実施の形態2を適用した実施例5～実施例21を示す図である。全ての実施例において、第1結像系Gr1は2枚のミラーを有しており、第2結像系Gr2は屈折レンズ系のみで構成されている。図12から図19はフィールド光学系Grfがすべてレンズ系の場合であり、図20から図28はフィールド光学系Grfが2枚のミラーを有する場合である。

【0016】一般に、ミラーを用いると光学系は次のような作用を有することになる。

a、ミラー面では、色収差が発生しない。これにより凹レンズと凹面ミラーを組み合わせることによりいわゆるマンジンミラーとすれば正のパワーとしながら、過剰の色消しを発生させることができる。

b、ミラーが有するパワーとベッツバル和の関係は、通常の屈折レンズとは逆である。これにより例えば凹面ミラーは、正のパワーを有しながらもベッツバル和は負の値を有するので、光学系中のベッツバル和補正のための負レンズのパワー負担を軽減できる。

c、光線が反射する。これにより物像面を対向させるために、光学系が複雑化する。例えば、瞳の中抜け、リングフィールド、光路折り曲げ等である。

【0017】ここでは、上述した目的を達成するために、上記ミラーの作用を効果的に利用し光学系に反映させており、図3に示すように、第1結像系、フィールド光学系、第2結像系と、ミラーを用いながらも一本の光軸上に投影光学系を配置した簡素な構成になっている。これによるメリットは大きく、光路を折り曲げる必要がないので、鏡筒構造を従来の屈折レンズ系と同様な構造とすることができ、また光学素子の自重変形についても、重力方向が光軸方向と一致しているので非対称な変形が発生せず、非対称収差が発生しにくい。周辺の組立調整、測定機器関連等の製造上のインフラ設備をそのまま流用することが可能となり、コスト上のメリットが大きい。さらに、装置のフットプリントも従来の屈折レンズ系と同程度となるので、占有面積も従来と変わらずユーザーにとってメリットが大きい。これを可能にしているのは、軸外光のみを結像に寄与させるという光学系コンセプト（リングフィールド系）を設定した上で、第1結像系Gr1において上記c.の作用を2回使用し2枚のミラーで2回の反射を行い、物体からの光束を第1ミラー群GM1の有効径外を通過して像面側へ進行させているという点にある。これにより続く光束はフィールド光学系Grf、第2結像系Gr2を通り像面上へ到達し、光

軸が1本の光学系を構成できるのである。

【0018】第2結像系Gr2はすべて屈折レンズ系で構成し正屈折力を有することにより、高NA化に対応可能とし、さらに像側作動距離を確保しやすくしている。仮に第2結像系Gr2が凹面ミラーを有している場合は、従来例で説明をしたように高NA化、像側作動距離の確保が困難になってくる。フィールド光学系Grfは図3のAに示すように全て屈折レンズ系で構成することも可能であるし、Bに示すように2枚のミラーを有する構成も可能である。後に実施例で示すように正レンズFL1は、パワー配置によっては不要とすることも可能である。またBの場合、第1フィールドミラーFM1は凹面鏡であり、第2フィールドミラーFM2は凸面鏡という構成となっているが、第2フィールドミラーFM2は凹面鏡で構成することも可能である。色補正に関しては第1結像系Gr1の色消し状況を、第1ミラー群GM1を負屈折力のレンズLN1と凹面の第1ミラーM1で構成することにより、上記a.の作用を利用して色消し過剰とすることができるので、レンズ使用銘柄が1種類であっても色収差補正が可能となっている。これは特にArf、F2光源の場合には、大きなメリットである。

【0019】光学素子の小枚数化や、小型軽量化に関しては、まず本実施形態では軸外光のみを使用したリングフィールド系であるので、瞳の中抜けを生じるカセグレン型やシュワルツシルト型を応用した光学系よりもミラーの径を小さくすることができ、またミラー枚数も本発明の構成によれば最少2枚と少ない。

【0020】また、第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1にて上記b.の作用により、第1結像系Gr1では大きな負のベッツバル和となるので、従来の屈折レンズ系のようにベッツバル和補正用の負屈折力レンズを多用することなしに、フィールド光学系Grf、第2結像系Gr2を構成することができ、レンズの枚数を少なくすることができる。さらに、第1結像系Gr1の第2ミラー群GM2をレンズLP1とミラーM2で構成すれば、第2ミラー群GM2のトータルのパワーは不変でありながら、レンズLP1と第2ミラーM2のパワー分担を変化させることにより、いかようにもベッツバル和を制御可能となるので、収差補正の自由度が増加し光学素子枚数の削減に貢献する。これは図3のBに示す第2フィールドミラーFM2においても同様に、第2フィールドミラーFM2とレンズLFを組み合わせ第2フィールドミラー群とすることによりベッツバル和補正の自由度が増加し光学素子枚数の削減に貢献する。そして、第1結像系Gr1の大きな負のベッツバル和を打ち消すべく第2結像系Gr2の正の屈折力も大きくなる必然性が生じ、かつ、第1結像系Gr1から射出する主光線高が第1ミラー群GM1の外側を通過するため高い位置でフィールド光学系Grfに入射し、フィールド光学系Grfから第2結像系Gr2に入射する主光線の角度が大き

くなり、これにより像側テレセントリックを保つためには、やはり第2結像系Gr2の正の屈折力が大きくなる必然性が生じ、この2つの必然性から矛盾することなく第2結像系Gr2の正の屈折力を大きくすることができ、第2結像系Gr2の有効径は小さくなり、小型軽量化がなされる。

【0021】ミラーへの入射角に関して、本実施の形態ではリングフィールド系であるので、瞳の中抜けを生じるカセグレン型やシュワルツシルト型を応用した光学系よりもミラーへの入射角を小さくすることができ、また第1結像系Gr1では第1ミラーM1を瞳共役点近傍に配置し、第2ミラーM2で反射した光束が第1ミラー群GM1の有効径外の即近傍を通過するようにしており、ミラー上の光軸から離れた高い位置で反射させることがないので、第1ミラーM1、第2ミラーM2とも入射角が極端に大きくなることはない。また、フィールド光学系GrfのBの場合では、第1フィールドミラーFM1と第2フィールドミラーFM2の間隔をできる限り確保しており光束幅も狭いので、これも入射角が極端に大きくなることはない。像面上での結像領域幅に関しては、有効光束をできるだけ確保するようにミラーを配置する必要があるが、フィールド光学系Grfが屈折レンズ系のためのAの場合でもミラーを含むBの場合でも第1結像系Gr1においては収差補正の許容範囲で物高を高くすればよいので、障害にはならない。また、フィールドミラーを有するBのフィールド光学系Grfでは、光束幅が狭いので有効光束が欠られないようにすることは容易であり、これも障害にはならない。したがって十分に結像領域幅を確保することは可能である。

【0022】また、第1結像系Gr1において物体面の直後に正レンズ群G1を配置することにより、歪曲収差等の補正に効果を発揮し、かつ物体側テレセントリック性を良好に保つことが可能となる。したがって物体面（レチクル）や像面（ウェハー）の反り、デフォーカスによる倍率変化を小さくするには正レンズ群G1と第2結像系Gr2とによって、物像界で両側テレセントリックな光学系とするのが良い。なお、本発明では、図3に示すように第2ミラーM2は光束分離のためには半円盤状とする必要があり、正レンズ群G1は半円盤状でも、レンズ製造、レンズ保持の容易さから円盤状でも良く、

$$0.5 < OI1L / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0 \dots (5)$$

を満足すること、前記距離LM1と前記距離LM2との関係が、

$$0.2 < LM2 / LM1 < 0.95 \dots (6)$$

を満足すること、前記投影光学系に関する物体面から像面までの距離をLとしたとき、前記距離LM1との関係が、

$$0.15 < LM1 / L < 0.55 \dots (7)$$

を満足すること、前記第1ミラー群の倍率をBGM1としたとき、

さらに光軸の下方表面部分に第2ミラーM2を形成する構成としても良い。同様の理由で、レンズLP1においても半円盤状としているが円盤状でも良く、このときは光束はレンズLP1を3度通過することになる。このとき同様にレンズLP1の下方表面部分に第2ミラーM2を形成する構成としても良い。同様に第1ミラーM1もレンズLN1の裏面鏡として構成しても良く、本発明で使用するミラーは、どのミラーであっても収差補正の観点からも、裏面鏡であっても良い。また図3のA、Bに示すようにフィールド光学系は、第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1の像面側背後に配置される正レンズFL1を有することで、径の増大化を抑制することができ、また正レンズFL1の第1面を2重曲率にする等不連続な形状にする必要が生じるが、第1ミラーM1を正レンズFL1の中心部分に形成しても良い。さらに、第1結像系の中間像の位置に像面上の結像領域が可変となる視野絞り配置することもできる。これにより、照明系（不図示）を簡素化することができる。

【0023】そして、本実施の形態2において、光学系を構成する上では、さらに以下の条件を満足することが好ましい。第2結像系Gr2の倍率をBG2とすると

$$-0.5 < BG2 < -0.05 \dots (1)$$

を満足すること、第1結像系Gr1の倍率をBG1とすると

$$-40.0 < BG1 < -0.5 \dots (2)$$

を満足すること、第1結像系Gr1のベッツパール和をP1、フィールド光学系Grfのベッツパール和をPf、第2結像系Gr2のベッツパール和をP2としたとき、

$$P1 < 0 \dots (3)$$

$$Pf + P2 > 0$$

を満足すること、前記物体と前記第1ミラーの近軸距離をLM1、前記物体から前記第1ミラーより前記物体側にある光学素子により形成する瞳共役点までの距離をeとしたとき、これらの関係が、

$$0.6 < e / LM1 < 2.5 \dots (4)$$

を満足すること、前記第1ミラーと前記第2ミラーの近軸距離をLM2、物体面から第1結像系による中間像までの光路に沿った近軸距離をOI1としたとき、前記距離LM1との関係が、

$$-2.0 < 1 / BGM1 < 0.4 \dots (8)$$

を満足することである。

【0024】条件式(1)は、高NA化に対応しながら、バックフォーカス（像側作動距離）を確保でき良好な結像性能を得ることができるように第2結像系Gr2の倍率を適正な範囲に規定するものである。まず、全範囲において負の値を持つことによりバックフォーカスの確保を容易としている。ここで、下限を越えると、第2結像系Gr2のパワーが小さくなるため第2結像系の径

が増大したり、第2結像系Gr2に対する仮想物体高が低くなってしまうため、フィールド光学系Grfを構成する各群のパワーが大きくなることによって、歪曲収差、像面湾曲の補正が困難になったり、または第1結像系Gr1の倍率が縮小傾向になりすぎて、第2ミラーM2からの反射光が第1ミラー群GM1と干渉する不具合が生じたりして、パワー配置的に困難になり好ましくない。逆に上限を越えると、第2結像系Gr2のパワーが増大するため収差補正が困難になったり、またフィールド光学系Grfの径が増大したりして好ましくない。

【0025】条件式(2)は、第1結像系Gr1のパワーを適正に保ちながら、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉することなしに効率的に通過するように、第1結像系Gr1の倍率を規定するもので、下限を越えると、第1ミラー群GM1の外側で光束径が大きくなってフィールド光学系Grfの増大化を招いたり、第2結像系Gr2のパワーが増大したりして収差補正が困難になってくるので好ましくない。次に上限を越えると、第1結像系Gr1のパワーが増大し、収差補正が困難になったり、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉する不具合が生じ好ましくない。なお条件式(2)の下限は-5.0であればより好ましい。

【0026】条件式(3)は、光学系全体の像面湾曲を規定するベッツバール和に関するもので、全系としてのベッツバール和は略0とすることが望ましいが、本実施の形態においては、第1結像系Gr1のベッツバール和は第1ミラー群GM1の存在によって大きな負の値を有し、これを打ち消すようにフィールド光学系Grfのベッツバール和と第2結像系Gr2のベッツバール和の総和は大きな正の値を有する。この条件を満足しない場合は、ベッツバール和を補正するために、レンズ枚数が増大したり、像面湾曲を補正することが困難となり好ましくない。

【0027】条件式(4)は、第1結像系の瞳共役点と第1ミラーM1の位置関係に関して規定するもので、高次の歪曲収差や像面湾曲の低減、前述したミラー入射角の低減等を考慮するとその位置関係はほぼ一致させることが望ましい。ここで下限を越えると、各物高からの主光線が第1ミラーM1で反射する高さが異なってしまうため、高次の歪曲収差、像面湾曲が増大してしまう。また、第1ミラー群GM1の径も大きくなってしまいますので、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉してしまう不具合が生じ好ましくない。上限を越えても、同様に各物高からの主光線が第1ミラーM1で反射する高さが異なってしまうため、高次の歪曲収差、像面湾曲が増大してしまう。また、第2ミラーM2からの反射光束の角度が光軸に対し大きくなるのでフィールド光学系Grfのパワー負担が大きくなってしまい収差補正を困難にさせるので好ましくない。

【0028】条件式(5)は、第1結像系Gr1による中間像と第1ミラーM1の位置関係に関して規定するもので、第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉することなしに効率的に像面側に通過するようにしており、図3に示すようにほぼ第1ミラーM1の外側で中間像を形成するようにするのが好ましい。したがって、この範囲を越えると、第1ミラーM1の外側で光束径が大きくなるので、フィールド光学系Grfにおいて径が増大したり、収差が増加したりして好ましくない。特に下限を越えると、第1結像系Gr1の倍率が縮小傾向になりすぎるため第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1と干渉する不具合が生じたり、第1ミラーM1、第2ミラーM2のパワーが大きくなりすぎるため収差発生量が増大して好ましくない。上限を越えると、逆に第1結像系Gr1の倍率が拡大傾向になりすぎるため、第1ミラーM1の外側に余分なスペースが生じたり、第2結像系Gr2で倍率をより縮小傾向にしなければならず光学系全系のパワーバランスが崩れるので好ましくない。なお条件式(5)の上限は3.0であればより好ましい。

【0029】条件式(6)は、第1ミラーM1に対し第2ミラーM2の位置を適正に保つように規定しているもので、下限を越えると、物体面から第1ミラーM1に向かう光束が第2ミラーM2によって欠られる不具合が生じ好ましくない。上限を越えると、第2ミラーM2と物体面が接近してしまうので物体面側のスペースが小さくなり装置構成上好ましくない。条件式(7)は、光学系全長に対し、第1ミラーM1の位置を適正に規定しているもので、この範囲を越えると光学系全系のパワーバランスが崩れるため好ましくない。特に、下限を越えると第1結像系Gr1のパワーが増大し、上限を越えると第2結像系Gr2のパワーが増大してベッツバール和や収差の打ち消し関係のバランスが崩れるため好ましくない。

【0030】条件式(8)は、第1結像系Gr1中の第1ミラー群GM1の倍率を規定しているもので、この範囲を越えると、第1ミラー群GM1のパワーが適正な範囲を越えてしまうので第2ミラーM2からの反射光束が第1ミラー群GM1の外側を通過させるための第2ミラー群GM2のパワーが規制されて、高次の歪曲収差や像面湾曲の発生を招いたり、光束が第1ミラー群GM1群と干渉する不具合が生じたり、また第2結像系Gr2とのパワーバランスにも影響し収差補正が困難となるので好ましくない。特に下限を越えると、第1ミラー群GM1のパワーが大きくなるので第1結像系Gr1のパワーが増大し、上限を越えると、第1結像系Gr1の倍率が拡大側に増大するので、第2結像系Gr2のパワーが増大し、いずれも収差補正が困難になってくる。なお条件式(8)の上限は-0.2であればより好ましい。

【0031】また、特に図3のBのような実施の形態で

は、フィールド光学系Grfは物体側へ凹面を向けた凹面鏡の第1フィールドミラーFM1と、第2フィールドミラーFM2を含む第2フィールドミラー群GFM2を有し、物理的に第1フィールドミラーFM1は第2フィールドミラー群GFM2よりも像面側に配置され、第2結像系Gr2は屈折レンズのみで構成され正屈折力を有し、物体側からの光束が第1結像系Gr1では第1ミラーM1、第2ミラーM2の順に反射された後に、第1ミラー群GM1の有効径の外側を通過して像面側へ進行し、次にフィールド光学系Grfでは第1フィールドミラーFM1、第2フィールドミラーFM2の順に反射された後に、第1フィールドミラーFM1の光軸中心近傍を通過して像面側へ進行し、最終的に第2結像系Gr2を通過することにより該投影光学系全系は1直線の光軸上に形成され、物体面と像面は該光軸の両端に対向して位置し、投影光学系全系の倍率は縮小倍率であることを特徴としている。

【0032】本実施の図3のBのような形態に特徴的な点は、第1結像系Gr1において上記c.の作用を2回

$$0.6 < OIL / (LM1 + 2 \times LM2) < 2.0 \cdots (11)$$

を満足すること、前記の距離LM1、投影光学系全体の共役長Lに関し、

$$0.25 < LM1 / L < 0.55 \cdots (12)$$

を満足すること、第1ミラー群GM1の倍率をBGM1とすると、

$$-1.2 < 1 / BGM1 < 0.4 \cdots (13)$$

を満足すること、第2フィールドミラーFM2と第1フィールドミラーFM1の距離LFM1、第2フィールドミラーFM2と像面の距離LFM2に関し、

$$0.45 < LFM1 / LFM2 < 0.8 \cdots (14)$$

を満足することである。

【0034】条件式(9)から(13)については、前述した内容と同様である。条件式(14)は、像面、第1フィールドミラーFM1、第2フィールドミラーFM2の位置関係について規定しているもので、下限を越えると、第1フィールドミラーFM1と第2フィールドミラーFM2の間のスペースが狭くなり、それぞれのミラーのパワーが大きくなっていくのでミラー面での収差発生が増大し好ましくない。上限を越えると、第2結像系Gr2を構成するためのレンズスペースが狭くなり、各レンズのパワーが増加することによる収差発生が大きくなり好ましくない。

【0035】以上のように、本実施の形態2においては、光学系を第1結像系、フィールド光学系、第2結像系で構成し、第1結像系の2枚のミラーで2回反射を行い光束を像面側に通過させることによって、光軸が一本の簡素な構成を実現しており、また、各結像系、各ミラー群の倍率分担、各ミラーの位置関係等を所定の条件を満足するように規定することにより、十分な結像領域幅が得られ、小型軽量で光学素子の枚数が少なく、ミラー

利用し第1ミラーM1、第2ミラーM2と2枚のミラーで2回の反射を行い、物体からの光束を第1ミラー群GM1の有効径外を通過して像面側へ進行させているという点と、フィールド光学系Grfにおいても上記c.の作用を2回利用し、第1フィールドミラーFM1、第2フィールドミラーFM2と2枚のミラーで2回の反射を行い、光束を第1フィールドミラーFM1の光軸中心部分を通過して像面側へ進行させていることにある。

【0033】この形態の光学系を構成する上では、さらに以下の条件を満足することが好ましい。第1結像系Gr1の倍率をBG1とすると、

$$-4.0, 0 < BG1 < -0.9 \cdots (9)$$

を満足すること、物体面と第1ミラーM1の距離LM1、第1ミラーM1より物体側にある光学素子により形成される瞳共役点の距離eに関し、

$$0.8 < e / LM1 < 1.5 \cdots (10)$$

を満足すること、前記の距離LM1、第1ミラーM1と第2ミラーM2の距離LM2、物体面から第1結像系Gr1による中間像までの近軸距離OILに関し、

への入射角が大きくなり、十分な像側作動距離を確保できる反射屈折投影光学系を達成している。

【0036】

【実施例】以下に、本発明の実施例について説明する。なお、実施例1～実施例4は上記実施の形態1を適用した例であり、また、実施例5～実施例21は上記実施の形態2を適用した例である。

【0037】【実施例1】実施例1の具体的なレンズ構成を図4に示す。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては螢石を用いている。物体側から順に、正の屈折力を有する屈折レンズ群L1、後置される第1のミラーM1への入射光と反射光の両方が透過する往復光学系である屈折レンズ群R、第1のミラーである凹面鏡M1、第2のミラーである凹面鏡M2、フィールドレンズ群F、及び第2結像光学系G2より構成されている。本実施例は、像側の開口数はNA=0.6、縮小倍率1/4、物像間距離(第1の物体面～第2の物体面)はL=約1170mmである。また、基準波長は157nm、像高がおおよそ11.25～19.75mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で26mm、幅で8mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図8に、数値実施形態の構成諸元値を表1に示す。尚、収差図は基準波長及び±2pmの波長について表示している。

【0038】屈折レンズ群L1は、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズよりなる。屈折レンズ群L1により、テレセン度と歪曲収差のバランスを良好にするとともに、第1のミラーM1及び往復光学系Rへ光束を屈折させている。往復光学系である屈折レンズ群Rは物体側

に凹面を向けたメニスカス形状の非球面負レンズにより構成されている。この負レンズにより、主に像面湾曲及び軸上色収差を補正している。また非球面により、主に球面収差及びコマ収差等を補正している。

【0039】第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、正の屈折力を有するとともに、像面湾曲を正方向に出して、屈折レンズにて構成されている第2結像光学系の負の像面湾曲を打ち消す働きを有する。第2のミラーM2は、像側に凹面を向けた凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーM1の有効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の有効径外の近傍に形成されている。本実施例において第1結像光学系は拡大系であり、第1のミラーM1からの反射光束と、第2のミラーM2からの反射光束との分離を容易に達成することができる。本実施例においては、中間像付近に1枚の両凸形状の非球面レンズをフィールドレンズ群Fとして配置している。

【0040】第2結像光学系G2は、物体側から順に、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、開口絞り、像側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、像側に凹面を向けた非球面レンズ、像側に凸面を向けた非球面レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、よりなる。この第2結像光学系G2は、フィールドレンズ群Fからの光束を第2の物体面上102に結像するために縮小系を構成し、開口絞りに対して光束に角度を持って入射させることにより、開口絞り付近の屈折レンズの有効径を小さく抑えている。このような配置を採ることにより、軸上色収差や球面収差等の諸収差の発生を低減するとともに、第1結像光学系にて発生する諸収差と打ち消しあうことで、全系において良好な収差補正を達成している。

【0041】尚、本実施例においては、第2のミラーM2は球面ミラーにて構成されており、それ以外の素子は全て非球面にて形成されているが、第1結像光学系G1及び第2結像光学系G2における屈折レンズ、及び第1のミラーM1は必ずしも全て非球面である必要はない。球面レンズ、球面ミラーでも構わない。但し、非球面を用いることによって諸収差をより良好に補正することが可能である。

【0042】〔実施例2〕実施例2の具体的なレンズ構成を図5に示す。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては螢石を用いている。物体側から順に、正の屈折力を有する屈折レンズ群L1、後置される第1のミラーM1への入射光と反射光の両方が透過する往復光学系である屈折レンズ群R、第1のミラーである凹面鏡M1、第2のミラーである平面鏡M2、フィールドレンズ群F、及び第2結像光学系G2より構成されている。本実施例は、像側の開口数はNA=0.6

0、縮小倍率1/4、物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）はL=約1205mmである。また、像高がおおよそ10～16.25mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で26mm、幅で4mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図9に、数値実施形態の構成諸元値を表2に示す。尚、収差図は基準波長及び±2µmの波長について表示している。

【0043】本実施例の具体的な構成について説明する。屈折レンズ群L1は、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ1枚よりなる。2枚のミラーを含む群L2は、往復光学系である屈折レンズ群Rと第1のミラーM1、第2のミラーM2よりなる。往復光学系である屈折レンズ群Rは物体側に凹面を向けた略平凹形状の非球面負レンズにより構成されている。第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されている。第2のミラーM2は、平面ミラーにて構成されている。

【0044】また、第1結像光学系にて結像した中間像付近にフィールドレンズ群Fを配置している。このフィールドレンズ群Fは、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、により構成されている。第2結像光学系G2は、物体側から順に、像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面負レンズ、開口絞り、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正球面レンズ、像側に凸面を向けた非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズ、よりなる。本実施例においては、第2結像光学系G2に強い負レンズを有する構成となっている。

【0045】〔実施例3〕実施例3の具体的なレンズ構成を図6に示す。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては螢石を用いている。また、像側の開口数はNA=0.68、物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）はL=約1185mmである。また、像高がおおよそ11.25～20.25mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で26mm、幅で8mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図10に、数値実施形態の構成諸元値を表3に示す。尚、収差図は基準波長及び±2µmの波長について表示している。

【0046】屈折レンズ群L1は、物体側より順に、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズよりなる。往復光学系である屈折レンズ群Rは物体側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面負レンズにより構成されている。第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、正の屈折力を有するとともに、像面湾曲を正方向に出して、屈折レンズにて構成されている第2結像光学系の負の像面湾曲をキャンセルしている。第2のミ

ラーM2は、像側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーの有効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の有効径外の近傍に形成されている。また、本実施例においては、中間像付近にフィールドレンズ群Fを配置している。このフィールドレンズ群Fは、物体側より順に、像側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズ、よりなる。

【0047】第2結像光学系G2は、物体側から順に、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、開口絞り、像側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、像側に凹面を向けた非球面レンズ、像側に凸面を向けた非球面レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、よりなる。この第2結像光学系G2は、フィールドレンズ群Fからの光束を第2の物体面上102に結像するために縮小系を構成し、開口絞りに対して光束に角度を持って入射させることにより、開口絞り付近の屈折レンズの有効径を小さく抑えている。このような配置を取ることで、軸上色収差や球面収差等の諸収差の発生を低減するとともに、第1結像光学系にて発生する諸収差と打ち消しあうことで、全系において良好な収差補正を達成している。

【0048】〔実施例4〕実施例4の具体的なレンズ構成を図7に示す。投影倍率は1/5倍であり、基準波長は157nm (F2エキシマレーザー光の波長)、硝材としては螢石を用いている。また、像側の開口数は $NA=0.60$ 、物体間距離(第1の物体面〜第2の物体面)は $L=約1411mm$ である。また、像高がおよそ9〜15mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも長さ方向で20.8mm、幅で5mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦及び横収差図を図11に、数値実施形態の構成諸元値を表4に示す。

【0049】物体側から順に、正の屈折力を有する屈折レンズ群L1、第1のミラーである凹面鏡M2、第2のミラーである凹面鏡M2、及び第2結像光学系G2より構成されている。尚、本実施例では、2枚のミラーを有する群L2中に、屈折レンズ群Rは存在しないとともに、フィールドレンズ群Fも存在しない。屈折レンズ群L1は、物体側より順に、像側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズよりなる。

【0050】第1のミラーM1は、物体側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されている。第2のミラーM2は、像側に凹面を向けた非球面凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーの有効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の有効径外の近傍に形成されている。本実施例では、第1結像光学系G1は縮小系を形成している。第2結像光学系G2は、物体側から順に、両凸形状の非球面正レン

ズ、開口絞り、像側に凹面を向けた2枚のメニスカス形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、よりなる。この第2結像光学系G2は、第2のミラーM2からの光束を第2の物体面上102に結像するために縮小系を構成している。以上の4つの実施例において、実施例2以外は、第1のミラーM1が全て非球面としたが、球面で構成しても構わない。また、実施例中の屈折レンズは、実施例1、実施例2を除いて全て非球面レンズであるが、球面レンズと混在して用いても構わない。また、非球面レンズは、全て非球面の加工面の裏面が球面で構成されているが、平面或いは非球面で構成されていても構わない。また、第1のミラー或いは第2のミラーは屈折力を持たない非球面で構成しても構わない。

【0051】本発明における以上の実施例1〜実施例4では露光領域は円弧状としたが、収差補正されている露光領域内であれば矩形でも他の形状でも構わない。また、2枚のミラーを含む群L2において、屈折レンズ群Rを含む構成を示したが、この屈折レンズ群Rとミラーが一体化、即ちマンジンミラーにて構成されていても構わない。或いは、屈折レンズ群Rと第2のミラーM2とを一体化してマンジンミラーとしてもよい。また、以上の実施例において、円錐定数 k をゼロとした非球面データがあるが、円錐定数を変数にとって設計しても構わない。また、今回は露光光源として波長157nmのF2エキシマレーザーを用いたが、KrFエキシマレーザー(波長248nm)或いは、ArFエキシマレーザー(波長193nm)等でも構わない。特に、波長が短くなり、用いることができる光学材料が限られるとともに透過率が低く、光学系の構成枚数を少なくしなければならないような光学系に用いる場合に有効となる。従って、250nm以下の波長にて用いられる光学系には特に有効である。また、今回の実施例は、F2エキシマレーザー光の波長157nmにおける硝材としてすべて螢石を用いたが、このような波長157nmにて使用可能な、例えばフッ素ドープの石英等、他の硝材を用いることができればその硝材を用いても構わない。また、KrFやArF光源の場合、螢石と石英を混在して用いても構わないし、どちらか一方を用いても構わない。

【0052】〔実施例5〕図12は本発明の実施例5の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザー光の波長157nmを用い、 $NA0.6$ 、投影倍率 $\beta=1/6$ 、レンズ共役長 $L=1005mm$ 、像面上の結像領域は像高にして8.64mmから14.40mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ9枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r1\sim r2$ は第1結像系Gr1であり、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r3\sim r8$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む2枚の正レンズと1枚の負

レンズで構成している。r9～r21は第2結像系Gr2であり、r11の絞りと4枚の正レンズと2枚の負レンズで構成している。

【0053】本実施例においては、第1結像系Gr1の倍率が最も縮小系となっているため、条件式(2)の上限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表5に示す。本実施例では像側作動距離30mmを確保しており、光路上の全硝子長は224.7mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の227mmであるが、第2結像系の最大径は125mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図29に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0054】〔実施例6〕図13は本発明の実施例6の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=956$ mm、像面上の結像領域は像高にして7.2mmから14.40mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ10枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、r1～r4は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。r5～r10はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む2枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。r11～r23は第2結像系Gr2であり、r13の絞りと4枚の正レンズと2枚の負レンズで構成している。

【0055】本実施例においては、第1ミラーM1での倍率がより縮小傾向となっているため条件式(8)の下限近傍の値となっている。またこれにより第1結像系Gr1における近軸での中間像は光束が第1ミラーM1で反射後、第2ミラーM2へ入射する手前に形成しているため、条件式(5)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表6に示す。本実施例では像側作動距離31mmを確保しており、光路上の全硝子長は232.1mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の196mmであるが、第2結像系の最大径は143mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図30に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0056】〔実施例7〕図14は本発明の実施例7の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1199$ mm、像面上の結像領域は像高にして8.4mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ9枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、r1～r4は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正

レンズ、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。r5～r12はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。r13～r21は第2結像系Gr2であり、r13の絞りと4枚の正レンズで構成している。

【0057】本実施例においては、第1結像系Gr1における瞳共役点の位置が第1ミラーM1の位置に対し正の方向へ大きくズレているために条件式(4)の上限近傍の値となっており、また光学全長に対し物体面から第1ミラーM1の距離が短くなっているため、条件式(7)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表7に示す。本実施例では像側作動距離35.1mmを確保しており、光路上の全硝子長は333.8mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の250mmであるが、第2結像系の最大径は143mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図31に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0058】〔実施例8〕図15は本発明の実施例8の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1198$ mm、像面上の結像領域は像高にして8.4mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ10枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、r1～r10は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)、(r9, r10)は物理的に第1ミラーM1と凹面の第2ミラーM2の間に配置した同一の負レンズ、それと第1ミラーM1と凹面の第2ミラーM2で構成している。r11～r18はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。r19～r27は第2結像系Gr2であり、r19の絞りと4枚の正レンズで構成している。

【0059】本実施例においては、第1結像系Gr1で物理的に第1ミラーM1と凹面の第2ミラーM2の間に配置した負レンズは、第2ミラーからの反射光束が第1ミラーM1と干渉する不具合を回避するため、歪曲収差等の補正のために配置している。なお、数値実施形態の構成諸元値を表8に示す。本実施例では像側作動距離36.1mmを確保しており、光路上の全硝子長は337.6mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の245mmであるが、第2結像系の最大径は142mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図32に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0060】〔実施例9〕図16は本発明の実施例9の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長

157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1166\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして7.7mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、r1~r14は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r10, r11)、(r13, r14)は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成し、(r5, r6)、(r8, r9)は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成している。r15~r22はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。r23~r33は第2結像系Gr2であり、r27の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0061】本実施例においては、第1結像系Gr1による中間像の位置が第1ミラーM1の位置とほぼ一致しており第1ミラー群GM1の外側で中間像を形成しているので、光束と第1ミラー群GM1との干渉の不具合が回避しやすく、かつフィールド光学系Grfの径をも大きくすることを抑制することができるので効率的な構成となっている。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバル和をコントロールしている。一方、中間像の結像状態が程良いのでこの位置に視野絞りを設けることもできる。なお、数値実施形態の構成諸元値を表9に示す。本実施例では像側作動距離30.3mmを確保しており、光路上の全硝子長は400.5mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の213mmであるが、第2結像系の最大径は157mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図33に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0062】〔実施例10〕図17は本発明の実施例10の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1160\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして7.7mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、r1~r14は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r10, r11)、(r13, r14)は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成し、(r5, r6)、(r8, r9)は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成している。r15~r22はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。r23~r33は第2結像系Gr2であり、r27の絞

りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0063】本実施例では、特に第1結像系Gr1における第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成し各々のパワーを強めることにより、光学系全系に対する色収差補正効果を大きくしている。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバル和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表10に示す。本実施例では像側作動距離30.0mmを確保しており、光路上の全硝子長は375.9mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の266mmであるが、第2結像系の最大径は105mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図34に示すが、主波長が157nmで2 μm の波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0064】〔実施例11〕図18は本発明の実施例11の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1430\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして8.19mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、r1~r12は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成し、(r8, r9)、(r11, r12)は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成している。r13~r20はフィールド光学系Grfであり、第1ミラーM1の像側背後に位置する正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。r21~r31は第2結像系Gr2であり、r25の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0065】本実施例でも、実施例10と同様に第1ミラー群GM1の構成の故に色収差補正効果を大きくしている。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツバル和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表11に示す。本実施例では像側作動距離30.0mmを確保しており、光路上の全硝子長は371.9mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の328mmであるが、第2結像系の最大径は141mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図35に示すが、主波長が157nmで4 μm の波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0066】〔実施例12〕図19は本発明の実施例12の光路図であり、基準波長はF2光源で157nm、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1$

430mm、像面上の結像領域は像高にして8.19mmから13.65mmの輪帯状の光学系を実施例1.1と同様なミラー2枚、レンズ12枚という少ない構成枚数により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r12$ は第1結像系Gr1であり、 $(r1, r2)$ はG1群としての正レンズ、 $(r3, r4)$ 、 $(r6, r7)$ は同一の負レンズLN1で第1ミラーM1と共に第1ミラー群GM1を構成し、 $(r8, r9)$ 、 $(r11, r12)$ は同一の正レンズLP1で第2ミラーM2と共に第2ミラー群GM2を構成している。図20においては、正レンズ群G1も正レンズLP1も半円盤状となっている。 $r13 \sim r20$ はフィールド光学系Grfであり、第1ミラー群GM1の外側に位置し中心部分がくり抜かれたドーナツ形状の正レンズFL1を含む3枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。 $r21 \sim r31$ は第2結像系Gr2であり、 $r25$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。

【0067】本実施例では、第1結像系Gr1の瞳共役点がより物体側にあるので条件式(4)では下限近傍の値を有している。そして実施例1.0と同様に第1ミラー群GM1の構成の故に色収差補正効果を大きくしている。またフィールド光学系Grfの正レンズFL1をドーナツ形状とし、その中心部分に第1結像系Gr1の第1ミラー群GM1を配置することにより、より物体側で光線を屈折させることができるので、フィールド光学系Grfや第2結像系Gr2のパワーを小さくすることができ、収差補正上の利点となる。また第2ミラー群GM2を正レンズLP1と第2ミラーM2で構成し、ベッツパル和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表1.2に示す。本実施例では像側作動距離30.0mmを確保しており、光路上の全硝子長は377.0mmと格段に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の328mmであるが、第2結像系の最大径は144mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図36に示すが、主波長が157nmで4pmの波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0068】[実施例1.3]図20は本発明の実施例1.3の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1100$ mm、像面上の結像領域は像高にして10.24mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ5枚という非常に単純化された構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r2$ は第1結像系Gr1であり、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2のみで構成している。 $r3 \sim r4$ はフィールド光学系Grfであり、凹面第1フィールドミラーFM1と凸面の第2フィールドミラーFM2のみで構成している。 $r5 \sim r15$ は第2結像系Gr2であり、 $r5$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負

レンズで構成している。本実施例においては、光学系全系の共役長に対し相対的に第1ミラーM1がより物体側に位置しており条件式(12)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表2.2に示す。本実施例では像側作動距離30mmを確保しており、光路上の全硝子長は192.2mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の388mmであるが、第2結像系の最大径は167mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図37に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0069】[実施例1.4]図21は本発明の実施例1.4の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1100$ mm、像面上の結像領域は像高にして10.24mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ6枚と実施例2.2にレンズ1枚が付加した単純化された構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r2$ は第1結像系Gr1であり、凹面の第1ミラーM1、ほぼ平面に近い凹面の第2ミラーM2のみで構成している。 $r3 \sim r8$ はフィールド光学系Grfであり、凹面の第1フィールドミラーFM1と凸面の第2フィールドミラーFM2、 $(r4, r5)$ 、 $(r7, r8)$ の同一の負レンズLFで構成している。 $r9 \sim r19$ は第2結像系Gr2であり、 $r9$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツパル和もコントロールしている。また第2結像系Gr2における倍率が小さくなっており、条件式(1)の上限近傍の値となっており、第1結像系Gr1に正レンズ群G1を構成していないので第2ミラーM2がより物体側に位置しており条件式(6)の上限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表1.4に示す。本実施例では像側作動距離30mmを確保しており、光路上の全硝子長は156.4mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の444mmであるが、第2結像系の最大径は144mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図38に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0070】[実施例1.5]図22は本発明の実施例1.5の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1190$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ8枚と実施例2.3にレンズ2枚が付加した構成により達成している。本実施例において、 $r1 \sim r8$ は第1結像系Gr1であり、 $(r1, r2)$ はG1群としての正レンズ、 $(r3, r$

4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。r9~r14はフィールド光学系Grfであり、凹面の第1フィールドミラーFM1と凸面の第2フィールドミラーFM2、(r10, r11)、(r13, r14)の同一の正レンズLFで構成している。r15~r25は第2結像系Gr2であり、r15の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第1結像系Gr1において凸レンズ群G1を構成することにより物体側テレセントリックを形成し、第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより、色補正を行っている。凸面の第2フィールドミラーFM2と正レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GF2によりベッツバル和もコントロールしている。また第1結像系Gr1の瞳共役点がより物体側にあるので条件式(10)の下限近傍の値となっている。第2フィールドミラーFM2と第1フィールドミラーFM1との間隔も相対的に大きくなっているため条件式(14)の上限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表15に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は203.7mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の512mmであるが、第2結像系の最大径は146mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図39に示すが、主波長が157nmで4pmの波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0071】〔実施例16〕図23は本発明の実施例16の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=1190$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例24にレンズ1枚が付加した構成により達成している。本実施例において、r1~r8は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。r9~r16はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、(r12, r13)、(r15, r16)の同一の負レンズLFで構成している。r17~r27は第2結像系Gr2であり、r17の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第1結像系Gr1の倍率を-3.838倍とやや拡大系としているため、フィールド光学系Grfに含まれる正レンズFL1を第1ミラーM1の像側背後に配置し、径の増大を抑制している。また負レンズLN1と第1ミラーM1で構成された

第1ミラー群GM1と、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GF2によりベッツバル和をコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表16に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は292.8mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の294mmであるが、第2結像系の最大径は184mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図40に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0072】〔実施例17〕図24は本発明の実施例17の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1188$ mm、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚という構成により達成している。本実施例において、r1~r8は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。r9~r16はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第2フィールドミラーFM1、凹面の第2フィールドミラーFM2、(r12, r13)、(r15, r16)の同一の正レンズLFで構成している。r17~r27は第2結像系Gr2であり、r17の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、フィールド光学系Grfにおいて凹面の第2フィールドミラーFM2とその像側背後に正レンズLFを配置したことにより、この正レンズLFの像側側面において中間像を形成しており、光学系全体として3回結像となっている。したがってフィールド光学系Grf以降においては正のパワーが大きくなっておりスペース的に小さくなっているため、第1ミラーM1の位置は相対的に像側側に位置しており、条件式(12)の上限近傍の値となっている。また第1ミラーM1での倍率がより縮小傾向となっているため条件式(13)の下限近傍の値となっており、これにより第1結像系Gr1における近軸での中間像は光束が第2ミラーM2で反射後、より物体側で形成しているため、条件式(11)の下限近傍の値となっている。第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより色補正も行っている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表17に示す。本実施例では像側作動距離36mmを確保しており、光路上の全硝子長は303.3mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の323mmであるが、第2結像系の最大径は125mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図41に示すが、主波長が157nmで2pmの波長

範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0073】〔実施例18〕図25は本発明の実施例18の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/4$ 、レンズ共役長 $L=1197\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして10.0mmから20.0mmと大きく確保した輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例16と同様な構成により達成している。本実施例において、 $r1\sim r8$ は第1結像系Gr1であり、($r1$, $r2$)はG1群としての正レンズ、($r3$, $r4$)、($r6$, $r7$)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凸面の第2ミラーM2で構成している。 $r9\sim r16$ はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、($r12$, $r13$)、($r15$, $r16$)の同一の正レンズLFで構成している。 $r17\sim r27$ は第2結像系Gr2であり、 $r17$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより、色補正を行っている。また凸面の第2フィールドミラーFM2と正レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和もコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表18に示す。本実施例では像側作動距離37mmを確保しており、光路上の全硝子長は286.8mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の442mmであるが、第2結像系の最大径は165mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図42に示すが、主波長が157nmで4 μm の波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0074】〔実施例19〕図26は本発明の実施例19の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/5$ 、レンズ共役長 $L=934\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして7.7mmから14.0mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ10枚という構成により達成している。本実施例において、 $r1\sim r10$ は第1結像系Gr1であり、($r1$, $r2$)、($r3$, $r4$)は正レンズでG1群を構成し、($r5$, $r6$)、($r8$, $r9$)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r11\sim r18$ はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、($r14$, $r15$)、($r17$, $r18$)の同一の正レンズLFで構成している。 $r19\sim r29$ は第2結像系Gr2であり、 $r19$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例に

おいては、第1ミラー群GM1を負レンズLN1と第1ミラーM1で構成することにより、色補正を行っている。凸面の第2フィールドミラーFM2と正レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和もコントロールしている。また第1結像系Gr1の倍率が最も縮小系となっているため、条件式(9)の上限近傍の値となっている。第2フィールドミラーFM2と第1フィールドミラーFM1との間隔は相対的に小さくなっているため条件式(14)の下限近傍の値となっている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表19に示す。本実施例では像側作動距離33.7mmを確保しており、光路上の全硝子長は264.4mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の293mmと比較的小さくなっており、第2結像系の最大径も130mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図43に示すが、主波長が157nmで2 μm の波長範囲について示しており収差が良好に補正されているのがわかる。

【0075】〔実施例20〕図27は本発明の実施例20の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/8$ 、レンズ共役長 $L=1190\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例16と同様な構成により達成している。本実施例において、 $r1\sim r8$ は第1結像系Gr1であり、($r1$, $r2$)はG1群としての正レンズ、($r3$, $r4$)、($r6$, $r7$)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、凹面の第2ミラーM2で構成している。 $r9\sim r16$ はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、($r12$, $r13$)、($r15$, $r16$)の同一の負レンズLFで構成している。 $r17\sim r27$ は第2結像系Gr2であり、 $r17$ の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、まず第1結像系Gr1の倍率が大きく拡大傾向となっているため、条件式(9)の下限近傍の値を有している。これは主に第1ミラー群GM1での倍率が正であり条件式(13)の上限近傍の値を有していることによる。これにより条件式(11)の上限近傍の値を有しているように、第1結像系Gr1による中間像の位置は大きく第1ミラーM1から離れている。また第1結像系Gr1の瞳共役点が第1ミラーM1に対しより像面側にあるので条件式(10)の上限近傍の値となっている。そして負レンズLN1と第1ミラーM1で構成された第1ミラー群GM1と、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GFM2によりベッツバル和もコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表20に示す。本実

施例では像側作動距離3.6mmを確保しており、光路上の全硝子長は315.5mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の355mmであるが、第2結像系の最大径は177mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図4.4に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0076】〔実施例21〕図2.8は本発明の実施例21の光路図であり、基準波長はF2エキシマレーザ光の波長157nmを用い、NA0.6、投影倍率 $\beta=1/1.0$ 、レンズ共役長 $L=1190\text{mm}$ 、像面上の結像領域は像高にして9.56mmから13.65mmの輪帯状の光学系をミラー4枚、レンズ9枚と実施例25と同様な構成により達成している。本実施例において、r1～r8は第1結像系Gr1であり、(r1, r2)はG1群としての正レンズ、(r3, r4)、(r6, r7)は同一の負レンズLN1、凹面の第1ミラーM1、ほぼ平面だが凸面状の第2ミラーM2で構成している。r9～r16はフィールド光学系Grfであり、正レンズFL1、凹面の第1フィールドミラーFM1、凸面の第2フィールドミラーFM2、(r12, r13)、(r15, r16)の同一の負レンズLFで構成している。r17～r27は第2結像系Gr2であり、r17の絞りと4枚の正レンズと1枚の負レンズで構成している。本実施例においては、第2結像系Gr2の倍率が条件式(1)の下限近傍の値を有しており、また、第2ミラーM2と第1ミラーM1の距離が短く、条件式(6)の下限近傍の値を有していることが特徴的である。そして負レンズLN1と第1ミラーM1で構成された第1ミラー群GM1と、凸面の第2フィールドミラーFM2と負レンズLFで構成された第2フィールドミラー群GF M2によりベッツバール和もコントロールしている。なお、数値実施形態の構成諸元値を表21に示す。本実施例では像側作動距離3.6mmを確保しており、光路上の全硝子長は301.7mmと非常に短くなっている。また、光学系全系の最大径はフィールド光学系の310mm

mであるが、第2結像系の最大径は180mmとNAが0.6にもかかわらず小さくなっている。次に、収差図を図4.5に示すが、収差が良好に補正されているのがわかる。

【0077】なお、以上の実施例5～実施例21においては非球面を使用しており円錐定数kをゼロとしているレンズ面があるが、円錐定数kを変数にとって設計しても構わない。さらに、本実施例ではすべてF2光源の場合でありその硝材を螢石($n=1.5600$)で構成しているが、一部にフッ素ドープの石英を用いてもよい。また光源はArFエキシマレーザでも、KrFエキシマレーザでもよく、この場合は、螢石と石英の両方とも用いることが可能なので色収差をより小さく補正することができる。またどちらか1硝種のみで光学系を構成した場合でも、F2の場合よりも分散が小さくなるので、色収差の補正が容易となる。上記実施例1～実施例21の投影光学系は、ステップ&スキャン方式でレチクル(マスク)のデバイス(c/f:回路)パターンを基板(ウェハ)上に投影する走査型投影露光装置の投影光学系として用いる。この露光装置でウェハをデバイスパターンで露光し、露光したウェハを現像しエッチングなどの処理を施して、デバイス(c/f:半導体チップ)が作られる。

【0078】以下に、上記実施例1～実施例21の数値実施形態の構成諸元を、それぞれの実施例と対応させて表

【1】～表

【21】を示す。なお、数値実施形態において、riは物体側より順に第i番目のレンズ面の曲率半径、diは物体側より順に第i番目のレンズ厚及び空気間隔、niは物体側より順に第i番目のレンズの硝子の基準波長 $\lambda=157\text{nm}$ に対する屈折率を示すものとする。また、基準波長に対する+2 μm 及び-2 μm の波長の屈折率は、各々1.5599949、1.5600051である。また、非球面の形状は次式、

$$X = \frac{H^2/\lambda}{1 + \left(1 - (1+k) \left(\frac{H}{r_i}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} + A \cdot H^4 + B \cdot H^6 + C \cdot H^8 + D \cdot H^{10} + E \cdot H^{12} + F \cdot H^{14} + G \cdot H^{16} + \dots$$

にて与えられるものとする。ここに、Xはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、riは曲率半径、kは円錐定数、A、...、Gは非球面係数で

ある。

【0079】

【表1】〈実施例1〉